



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 51 785 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 21/768**  
H 01 L 23/532  
C 23 C 28/00

②1 Aktenzeichen: 197 51 785.4  
②2 Anmeldetag: 21. 11. 97  
④3 Offenlegungstag: 28. 5. 98

DE 197 51 785 A 1

③0 Unionspriorität:

9624343 22. 11. 96 GB  
9702410 06. 02. 97 GB

⑦1 Anmelder:

Trikon Equipments Ltd., Newport, Gwent, GB

⑦4 Vertreter:

Zeitler & Dickel Patentanwälte, 80539 München

⑦2 Erfinder:

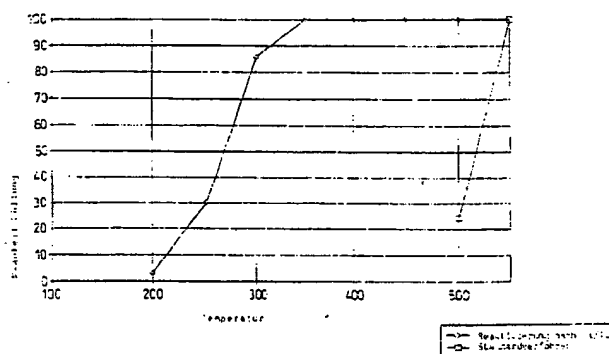
Dobson, Christopher David, Bristol, GB

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Behandeln eines Halbleiter-Wafers

⑤7 Die Erfindung umfaßt ein Verfahren zum Auffüllen von Ausnehmungen auf einer Oberflächenschicht eines Werkstückes mit leitendem Material mit folgenden Schritten: Ausbilden einer Barrierschicht auf die Oberfläche; Ablagern einer Schicht aus leitendem Material auf die Barrierschicht und Zwingen, Fließen oder Driften des leitenden Materials in die Ausnehmungen, wobei die Barrierschicht Sauerstoff umfaßt oder oxidiert ist und oxidiertes Material in der Oberfläche der Schicht vor dem Ablagern des leitenden Materials nitriert wird.

Graph 1: A Full-temperature treatment of substrate temperature in 50°C Full-temperature



BEST AVAILABLE COPY

DE 197 51 785 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auffüllen von Ausnehmungen in einer Oberflächenschicht eines Werkstückes mit elektrischem Material gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Erfindung betrifft im allgemeinen ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Behandeln eines Werkstückes, wie beispielsweise eines Halbleiter-Wafers, und insbesondere, aber nicht ausschließlich, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen einer Schicht auf einer Oberfläche eines Werkstückes mit Ausnehmungen.

Aus EP 92 304 633.8 und GB-PA 9 619 461.8 sind Verbesserungen für ein Verfahren zum wenigstens teilweise Auffüllen von Ausnehmungen auf einer Oberfläche mittels der Anwendung von Temperatur und Druck bekannt. Andere Verfahren beinhalten Driften von geschmolzenem Metall in die Ausnehmung, beispielsweise durch Oberflächendiffusion.

Eine der Hauptanwendungen derartiger Techniken dient zum Ablagern einer verbindenden Schicht, welche typischerweise aus mehreren Elementen besteht, deren Hauptelemente folgende sind:

(i) Eine Barrierschicht. Dies ist häufig Titan oder eine Titanlegierung, und ihr Zweck liegt im wesentlichen darin, eine gute Anhaftung an der Oberflächenschicht zur Verfügung zu stellen und eine ungewollte oder unerwünschte Legierung zwischen der Verbindungsschicht und der Oberflächenschicht zu verhindern, insbesondere ein "Spicken" einer Aluminiumlegierung durch eine Kontaktverbindung zu verhindern.

(ii) Eine Halbleiterschicht, welche typischerweise aus einer Aluminiumlegierung besteht. Diese Schicht bildet das Hauptvolumen der kombinierten Struktur, und die in den oben erwähnten Anmeldungen offenbarten Verfahren beschreiben, wie diese Schicht in Ausnehmungen auf der Oberfläche des Wafers mittels Anwendungen von Wärme und Druck gezwungen wird, um die Ausnehmungen im wesentlichen aufzufüllen.

(iii) Eine Oberschicht einer Antireflexionsbeschichtung, um nachfolgende lithographische Verfahrensschritte zu unterstützen.

Einige oder alle diese Elemente können in separaten Anlagenbestandteilen abgelagert werden, und der Wafer wird dabei der Atmosphäre ausgesetzt, wenn er von einem Anlagenteil zum nächsten bewegt wird. Die Aussetzung des Werkstückes an die Atmosphäre bedingt jedoch, daß sich die Oberfläche des Wafers, beispielsweise die Barrierschicht, verändert, beispielsweise durch Ausbildung von Oxiden. Dies kann beisp. im Fall von TiN erwünscht sein, weil es scheint, daß die "Bainere"-Qualitäten dieser Schicht dadurch verbessert werden.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß das in den o.g. Anmeldungen offenbarte Verfahren zum Ausfüllen von Ausnehmungen solange nicht zuverlässig funktioniert, bis das Aussetzen der TiN-Barrierschicht an die Atmosphäre verhindert oder ausgeschlossen ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren der o.g. Art zur Verfügung zu stellen, welches die vorgenannten Nachteile beseitigt.

Diese Aufgabe wird durch die Erfindung mit den in Anspruch 1 angegebenen Verfahrensschritten gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Auffüllen von Ausnehmungen in einer Oberflächenschicht eines Werkstückes, beisp. eines Halbleiter-Wafers, mit leitendem Material zur Verfügung gestellt, mit folgenden Schritten: Ausbilden einer Barrierschicht auf der Oberfläche; Ablagern einer Schicht aus leitendem Material auf der Barrierschicht und Zwingen und/oder Fließen der leitenden Schicht in die Ausnehmungen, wobei die Barrierschicht Sauerstoff umfaßt oder oxidiert ist und oxidiertes Material in der Oberflächenschicht vor dem Ablagern der leitenden Schicht nitriert wird.

Aus Vereinfachungsgründen wird der vorgenannte letzte Schritt, nämlich daß die Barrierschicht Sauerstoff enthält oder oxidiert ist und oxidiertes Material in der Oberflächenschicht vor dem Ablagern der leitenden Schicht nitriert wird, nachfolgend mit "Reaktivierung" bezeichnet.

Die Barrierschicht und die leitende Schicht können in jeder geeigneten Weise abgelagert oder ausgebildet werden und können beispielsweise auch als Folienflächengebilde aufgelegt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Barrierschicht in einer ersten Vorrichtung ausgebildet und die leitende Schicht in einer zweiten Vorrichtung abgelagert. Die erste Vorrichtung kann eine Vorrichtung zum chemischen Aufdampfen (CVD, chemical vapour deposition) sein, wogegen die zweite Vorrichtung eine Vorrichtung zum physikalischen Aufdampfen (PVD, physical vapour deposition) oder eine Vorrichtung zum galvanischen Behandeln (electroplating) sein kann. Die Fähigkeit, mit Oxidation zurecht zu kommen, welche von jeder Vakuumunterbrechung folgt, bedeutet, daß die am meisten bevorzugte Vorrichtung zum Ausbilden oder Ablagern einer jeden Schicht verwendet werden kann. Die leitende Schicht wird beispielsweise bevorzugt aus Aluminium, einer Aluminiumlegierung, Kupfer oder Silber ausgebildet.

Der Verfahrensschritt der Nitrierung wird bevorzugt mit einem Stickstoff enthaltenden Plasma ausgeführt. Zusätzlich oder alternativ kann die Barrierschicht plasmaerzeugtem atomarem Wasserstoff unter Anwesenheit von Stickstoff ausgesetzt werden, um jedwedes oxidierte Material in der Barrierschicht zu nitrieren. Alternativ können der Schritt zum Sauerstoffabstreifen mittels atomarem Wasserstoff und der Nitrierungsschritt nacheinander ausgeführt werden. Mit gegenwärtigen Vorrichtungen ist zumindest die Nitrierung in einer reinen Stickstoffatmosphäre schwierig durchzuführen. Das Verhältnis von Wasserstoff zu Stickstoff liegt zwischen etwa 1 : 10 und 3 : 1. Der Wasserstoff kann beispielsweise in Form von  $\text{NH}_3$  zur Verfügung gestellt werden, wobei das  $\text{NH}_3$  wenigstens einen Teil des nitrierenden Stickstoffs zur Verfügung stellt.

Man nimmt an, daß die Anwesenheit von Sauerstoff die Fähigkeit des Auffüllens von Ausnehmungen negativ beeinflußt, und die Thermodynamik von ähnlicher Kontaminationschemie zeigt geeignete Mechanismen und schlägt Lösungen vor, welche sich als wirksam herausgestellt haben. Die Barrierschicht enthält im wesentlichen Atome aus Titan und Stickstoff, wobei jedoch Titan-Nitrid säulenartige Kornstrukturen ausbildet, welche Korngrenzen haben, die von oben bis unten durchlaufen. Da Titan-Nitrid als physikalische Barriere wirkt, ist dies ein inhärenter Fehler, aber es ist wohlbekannt, daß dieser durch Addition von Sauerstoff während der Ausbildung von Titan-Nitrid oder durch Aussetzen des Titan-Nitrids einer Sauerstoffatmosphäre, wie beispielsweise Luft, geheilt werden kann. Man sagt, daß der Sauerstoff die

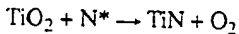
Korngrenzen "ausstopft".

Es ist daher bevorzugt, zum Verbessern der Barrierequalität Sauerstoffzugaben zum Titan-Nitrid zu haben, wobei dies jedoch das Problem beinhaltet, daß die Oberfläche einigen atomaren Sauerstoff enthält. Titan und Stickstoff sind stabil gebunden und bilden ein TiN-Gitter. Der nachfolgende Verfahrensschritt zum Ausfüllen von Ausnehmungen bringt Aluminiumatome in Kontakt mit der TiN-Oberfläche. Unter üblichen Bedingungen bindet sich das Aluminium schlecht an die Oberfläche von Titan und Stickstoff, so daß das Aluminium frei in die Ausnehmungen fließen kann. Sauerstoffkontaminationen auf dem TiN haben den Effekt, daß unter üblichen Bedingungen eine oxidierte Oberfläche vorliegt, welche aus Sauerstoffatomen besteht, die an der äußeren Schicht des Titans gebunden sind, welches in engen Kontakt mit dem leitenden Material kommt. Unter üblichen Verfahrensbedingungen, welche zum Fluß des leitenden Materials in die Ausnehmungen erforderlich sind, ist es hochwahrscheinlich, daß das leitende Material eine chemische Verbindung mit der Barrierschicht ausbildet und so den Fluß des Materials unterbindet. Je reaktiver das leitende Material ist, desto wahrscheinlicher ist offensichtlich die Ausbildung einer Bindung.

Es wurde herausgefunden, daß die Sauerstoff enthaltenden Barrierschichten für nachfolgende Verfahrensschritte dadurch verbessert werden können, daß wenigstens an der Oberfläche vorhandene Sauerstoffatome durch Stickstoff ersetzt werden.

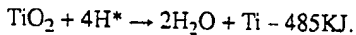
Dies wurde auf mehreren Wegen erzielt, insbesondere unter Verwendung von Stickstoff und Wasserstoff enthaltenden Plasmen. Eine Beschreibung von möglichen Mechanismen ist wie folgt.

Die Verwendung eines Stickstoff enthaltenden Plasmas wird am besten durch mittels Plasma erzeugte Probestücke beschrieben, ggf. unter Ionenmitwirkung, was die oxidierte Barriereoberfläche wirksam nitriert.



Die Reaktion ist bei Temperaturen über 625°C nur leicht bevorzugt.

Die Verwendung eines plasma- oder ultraviolett erzeugten atomaren Wasserstoffs ist chemisch mehr bevorzugt und benötigt keine Ionenunterstützung:



Wenn diese Reaktion unter Anwesenheit von Stickstoff ausgeführt wird, wird die abschließende Barrierschichtoberfläche gleichzeitig nitriert.

Die Erfindung kann auf verschiedenen Wegen ausgeführt werden, und spezifische Ausführungsformen werden nun beispielhaft beschrieben unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung, in welcher eine prozentuale Lochfüllung über einer Vorheiztemperatur für Standardfüllverfahren bzw. gemäß der Erfindung aufgetragen ist.

In dem eingangs beschriebenen allgemeinen Verfahren ist chemisches Aufdampfen (CVD, chemical vapour deposition) bevorzugt, weil TiN bessere Eigenschaften hat als TiN, welches mittels physikalischem Aufdampfen (PVD, physical vapour deposition) hergestellt ist. Es kann jedoch zu einer Vakuumunterbrechung kommen, wenn die Wafer von der CVD-Vorrichtung zur PVD-Vorrichtung für Metallisationsprozesse transportiert werden.

Es hat sich herausgestellt, daß Aluminiumlegierungen schlecht in Ausnehmungen über TiN-Materialien fließen, wenn eine Oberflächenoxidation des TiN vorliegt. Eine nachfolgende PVD-TiN-Schicht, der ohne Vakuumunterbrechung die Ablagerung der Aluminiumlegierung folgt, ist eine wirksame Lösung, welche jedoch zu vermeiden ist, weil dies dazu führt, daß die nachfolgende Barrierschicht über die Öffnungen der Ausnehmungen überhängt, was ein Auffüllen der Ausnehmungen verhindert. Es hat sich gezeigt, daß ein Plasmaverfahren unter den nachfolgenden Bedingungen die Oberfläche des TiN ausreichend modifiziert, um eine gute Auffüllung durch die Aluminiumlegierungen zu erzielen.

H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>-Verhältnis: 1 : 2

Zeit: 2 Minuten

typischer Druck: 1100 Millitorr

Plasmaleistung: 300 Watt.

Dieses Verfahren führt zu:

Ausnehmungsdurchmesser

Prozentanteil von aufgefüllten Ausnehmungen, wenn die Barrierschicht mit dem oben beschriebenen Plasmaverfahren behandelt ist ohne Plasmabehandlung

0,5 µm

100%

0%.

Dieses Verfahren ist wirksam, wurde jedoch bisher insbesondere für Ausnehmungen mit kleinerem Durchmesser nicht optimiert und ist lediglich beispielhaft angegeben. Man nimmt an, daß eine entsprechende Änderung der Ionencharakteristik, des H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>-Verhältnisses, der Wasserstoffgasquelle (beispielsweise NH<sub>3</sub>), des Drucks, der Temperatur und anderer Parameter zu einer 100%-igen Auffüllung aller Ausnehmungen bis zu einer Größe von wenigstens 0,3 µm oder kleiner führt.

Eine erfolgreiche Verfahrensdurchführung wurde auch unter Verwendung folgender Bedingungen erzielt:

Verhältnis von atomarem Wasserstoff zu Stickstoff: 3 : 1

Druck: > 100 Millitorr (beisp. 300-400 Millitorr)

angewandte Plasmaleistung > 500 W, 13,56 MHz (beisp. 1,2 kW)

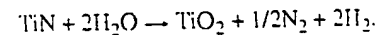
Substrattemperatur: 400-550° C (beisp. 550°C)

In dem nachfolgenden Auffüllschritt wurde bei Ersetzen der  $N_2/H_2$ -Mischung durch  $NH_3$  ein Füllgrad von über 95% von 0,35  $\mu m$  Kontakten beobachtet. Die oben in Klammern genannten Verfahrensbedingungen haben einen Füllgrad von 100% für 0,35  $\mu m$  Kontakte erzielt.

Das oxidierte Titan an der Oberfläche wird unter Anwesenheit von atomarem Wasserstoff und atomarem Stickstoff zurücknitriert, wobei auch ein Gasgemisch oder ein einzelnes Gas verwendet werden kann, welches Stickstoff und Wasserstoff und ggf. andere Elemente enthält.

Die Rücknitrierung mittels einem Gemisch aus atomarem Wasserstoff und Stickstoff erfolgt vorzugsweise durch eine anfängliche Reduktion des Titanoxids durch den Wasserstoff und eine anschließende Reaktion des Titans mit dem Stickstoff.

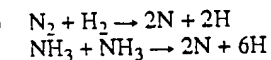
Mit zunehmender Temperatur erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit dadurch, daß die Geschwindigkeit, mit welcher das Wassernebenprodukt des Reduktionsprozesses die Substratoberfläche verläßt, erhöht wird und so mögliche Reduktionen oder Reoxidierungen der Oberfläche verhindert sind.



Bei dieser Temperatur bestimmt der atomare Wasserstoff die Reaktion, da dieser Titan zur Reaktion mit dem Stickstoff zur Verfügung stellt. Daher steigt die Umsetzungsrate von Titanoxid zu Nitrid in einer Stickstoff enthaltenden Umgebungsatmosphäre, wenn die Konzentration des atomaren Wasserstoffs erhöht wird.

Es kommt natürlicherweise ein Punkt, wo die Nitrierung des reduzierten Titanoxids der die Umsetzungsrate limitierende Faktor wird, weil es eine vorgegebene Anzahl von Gasmolekülen in jedem vorgegebenen Volumen bei konstanter Temperatur und Druck gibt.

Es gibt ein optimales Gemisch aus atomarem Wasserstoff und Stickstoff für dieses Verfahren, wenn es unterhalb einer Temperatur ausgeführt wird, bei der eine direkte Reaktion von Titanoxid zu Titan-Nitrid unter Anwesenheit von atomarem Stickstoff möglich ist. Die Verwendung von Gasmolekülen, welche sowohl Wasserstoff als auch Stickstoff enthalten, kann gegenüber einem Gemisch aus den beiden separaten Gasen bevorzugt sein, weil mehr Wasserstoff und Stickstoffatome in dem festen Gasvolumen vorhanden sind und mit der Substratoberfläche reagieren können. Beispielsweise ergibt sich eine Anzahl von Wasserstoffatomen und Stickstoffatomen bei vollständiger Dissoziation folgendermaßen:



Es ist ferner wohlbekannt, daß in einem Plasma ein Stickstoff enthaltendes Gas, wie beispielsweise Ammoniak, eine wesentlich bessere Quelle für atomaren Stickstoff sein kann als molekularer Stickstoff. Es wird ebenfalls angenommen, daß  $NH_3$  als Dampf stärker am Substrat "anhafter" als Wasserstoff und Stickstoff, welche von atomarem Stickstoff und Wasserstoff unter energetischem Beschuß freigegeben werden und so die benötigten Oberflächenreaktionen unterstützen.

Es ist ein experimentelles Ergebnis, daß mit Steigerung der Konzentration von molekularem Stickstoff und Wasserstoffgas bis zu 10 : 1 die Nitrierungsrate steigt, obwohl diese Rate immer noch unterhalb derer liegt, welche bei Verwendung von Ammoniak mit einem Gehalt von atomarem Stickstoff zu atomarem Wasserstoff von 1 : 3 erzielt wird. Dies ist ein Problem, weil der von dem molekularen Stickstoff erzeugte atomare Stickstoff der die Umsetzungsrate limitierende Faktor ist.

Es wurde ebenfalls beobachtet, daß bei Erhöhung der Konzentration von molekularem Stickstoff in Wasserstoff bis über einen vorbestimmten Punkt hinaus die Umsetzungsrate der Nitrierung vermindert wird, wobei an diesem Punkt immer noch nicht dieselbe Rate erreicht ist, wie sie sich bei einer Verbindung von Stickstoff und Wasserstoff, wie beispielsweise Ammoniak, ergibt. Eine mögliche Erklärung ist, daß die Reduktion des Titanoxids nunmehr der limitierende Faktor ist. Möglicherweise wurde der molekulare Wasserstoff im molekularen Stickstoff derart verdünnt, daß bei der Bildung von atomarem Wasserstoff dieser physikalisch von der Reaktion mit der Substratoberfläche ausgeschlossen ist, weil er sich aufgrund der Anwesenheit der großen Anzahl von unreaktierten Stickstoffmolekülen nicht in genügenden engem Kontakt mit dieser befindet.

Zusätzlich zu dem vorbestimmten Zweck, zu dem die Nitrierung in dem oben beschriebenen Verfahren verwendet wird, nimmt man an, daß Nitrieren einer zuvor oxidierten Barrierschicht, beispielsweise  $TiN$ , beisp. in der oben beschriebenen Weise, die Barriereigenschaften der Schicht weiter verbessert.

Ein weiterer überraschender Vorteil der Behandlung der Barriere liegt darin, daß der Wafer nicht so heiß vorgeheizt werden muß.

Das Anordnen eines Werkstückes in einem Vakuum oder einer anderen gasförmigen Umgebung, wobei das Werkstück zuvor einer ersten Gasumgebung, beisp. der Atmosphäre, ausgesetzt war, führt dazu, daß das Werkstück "ausgast", weil Gas und Dampf die Oberfläche verlassen und in das Vakuum oder die neue Gasumgebung übergehen.

Dieses Ausgasen ist insbesondere in Plasmaverfahren unerwünscht, weil diese in einem Teilvakuum mit einer Gasumgebung mit reduziertem Druck ausgeführt werden, wobei die Gasumgebung derart ausgewählt ist, daß sie in einer bestimmten Weise reaktiv oder nichtreaktiv ist.

Je niedriger der Druck des Verfahrensschrittes ist, desto mehr potentiell schädlich ist das Ausgasen für das Verfahren, weil das Ausgasen zu einem größeren proportionalen Anteil des enthaltenen Gesamtgases führt oder weil der niedrige Druck ohne erhöhte Vakuumpumpgeschwindigkeit nicht erreichbar ist oder weil eine höhere Pumpgeschwindigkeit und damit erhöhte Kosten notwendig sind.

Insbesondere Sputterverfahren werden unter Verwendung einer Edelgasumgebung bei niedrigem Druck, beispielsweise mit Argon, ausgeführt. Das Argongas wird in einer Durchflußentladung im wesentlichen durch Anwendung einer geeigneten negativen Spannung an einer Elektrode ionisiert, wodurch ein "Rohstoff" bzw. ein "Ausgangsmaterial" an Io-

nen zur Verfügung gestellt wird, welche unter dem Einfluß des negativen Potentials auf die Oberfläche der Elektrode treffen, auf der ein Target-Werkstoff angeordnet ist. Der Target-Werkstoff wird durch den Ionenbeschuß durch die Argonplasma-Atmosphäre hindurch und auf das Werkstück gesputtert, welches in geeigneter Weise nahebei angeordnet ist.

Argon wird deswegen verwendet, weil es ein kommerziell beliebtes Edelgas mit einer relativ hohen Ionenmasse ist.

Wenn jedoch irgendwelche potentiell reaktive Gase oder Dämpfe in der Argonumgebung vorhanden sind, werden auch diese durch die Glühentladung ionisiert sowie reaktiv und reagieren mit dem gesputterten Material, entweder auf der Target-Oberfläche, während des Fluges durch die Gasumgebung, oder auf anderen Oberflächen.

Wenn die vorgenannten Bedingungen absichtlich gewählt werden, ist dieses Verfahren als "reaktives Sputtern" bekannt und wird zum Sputtern derartiger Materialien, wie beispielsweise Titan-Nitrid, verwendet, wobei Stickstoff dem inerten Sputtering-Rohstoff zugegeben wird. Wenn dies jedoch in einer unkontrollierten Weise auftritt, werden unerwünschte Oxide, Nitride und andere Materialien durch die Anwesenheit von Wasserdampf, Stickstoff, Sauerstoff und anderen Bestandteilen der Atmosphäre auf dem Werkstück durch Reaktion mit dem Target-Material abgelagert oder ausgebildet.

Dies ist insbesondere bei der Verwendung von Aluminium und dessen Legierungen unerwünscht, weil es den spezifischen Widerstand erhöht und weil ferner jedwede Einschlüsse von Sauerstoff in dem Aluminiumfilm die Flußeigenschaften des Aluminiums in die Löcher während der Anwendung von Druck verringern.

Daher ist für Sputter-Verfahren ein Ausgasen unerwünscht.

Die Hauptquelle der Ausgasung ist das Werkstück selbst, weil es vor dem Einführen in die Prozeßkammer in der Atmosphäre oder einer anderen Gasumgebung, beispielsweise trockenem Stickstoff, angeordnet war. Ausgasen ist ein zeitraubendes Verfahren, und jede Beschleunigung dieses Verfahrens ist wünschenswert. Wohlbekannte Wege zum Beschleunigen dieses Verfahrens sind Hitze und UV, wobei Hitze praktisch universell angewendet wird. Je größer die Hitze, desto schneller erfolgt das Ausgasen.

Wafer haben jedoch einen thermischen Haushalt, und dessen Verwendung beim Vorheizen kann in vorteilhafter Weise vermieden werden.

Es hat sich herausgestellt, daß Wafer, welche in der vorgenannten Art und Weise behandelt wurden, eine niedrigere Vorheiztemperatur benötigen, um dieselben Resultate beim Auffüllen von Löchern bzw. Ausnehmungen zu erzielen. Die bisher durchgeführten Experimente wenden ein Ammoniak-Plasma an.

Es ist bisher nicht genau bekannt, warum diese Resultate erzielt werden, aber es kann nicht einfach aus einer Plasma-"Konditionierung", einer Aufheizung oder einem energetischen Beschuß der Waferoberfläche resultieren, weil in all diesen Fällen die Wafer einem inerten Argonplasma als Teil des "Sputter-Ätz"-Verfahrens nach dem Vorheizen und vor dem Sputtern ausgesetzt werden. Das Ammoniak-Plasmaverfahren erfolgt zusätzlich zum und vor dem Sputter-Ätz-Verfahren.

#### Experiment A

Zum Testen der Verfahrensgrenzen wurde eine große Kette von Gitternetzen verwendet. Die Gitternetzabstände betrugen in der Breite 0,4 µm und in der Tiefe 1 µm. Die verschiedenen Teile des Experiments wurden auf engen Waferproben ausgeführt, welche auf thermischen Oxidträger-Wafern behandelt wurden. Die Proben wurden dann mittels des Gitternetzes unterteilt und in einem REM (Rasterelektronenmikroskop, surface electron microscop, SEM) untersucht. Durch Zählen der Gesamtzahl von Löchern, welche komplett aufgefüllt waren und welche nicht aufgefüllt waren, wurde die Füllfähigkeit eines jeden Prozesses bestimmt. Im Durchschnitt wurden 80-100 Gitterübergänge pro Probe untersucht. Für jede Probe wurde der Füllprozentanteil errechnet.

#### Resultate und Schlußfolgerungen

Die Vorheiztemperatur kann von 550°C auf 350°C reduziert werden, wenn nach dem Ablagern von Ti/TiN ein Nitrierungsschritt eingefügt wird. Diese Temperaturen sind die minimal benötigten zum Erreichen einer 100%-igen Lochfüllung ohne und mit dem Nitrierungsschritt. Die Zeichnung zeigt, wie die Füllfähigkeit mit steigender Vorheiztemperatur steigt und wie der Nitrierungsprozeß in signifikanter Weise die Mindesttemperatur für eine komplette Füllung reduziert. Die niedrigere Vorheiztemperatur ist für die oben beschriebene Übergangsbehandlung bzw. Behandlung von Gitternetzabständen mehr geeignet. Die Reduzierung der Prozeßzeit von 4 Minuten Kontaktzeit auf 2 Minuten verbessert ebenfalls den Durchsatz und reduziert die Zeitspanne, während derer der Wafer einer hohen Temperatur ausgesetzt ist.

Modul	Standard- bedingungen	Reaktivierungsprozeß- bedingungen
Vorheizen	1 Torr 550°C, 3 min.	350°C, 3 min, 1 Torr
mit Nitrierung	N/A	350°C, 2 min, 1500 sccm NH <sub>3</sub> 1200 W Trägerlei- stung (platten power) 560 V DC Vorspannung
Standardfüllung	460°C, 1 min	460°C, 1 min, 1150 bar Einlaß, 700 bar Kammer

Vergleich der minimalen Verfahrenserfordernisse, welche für Ti Übergangsstrukturen erforderlich sind.

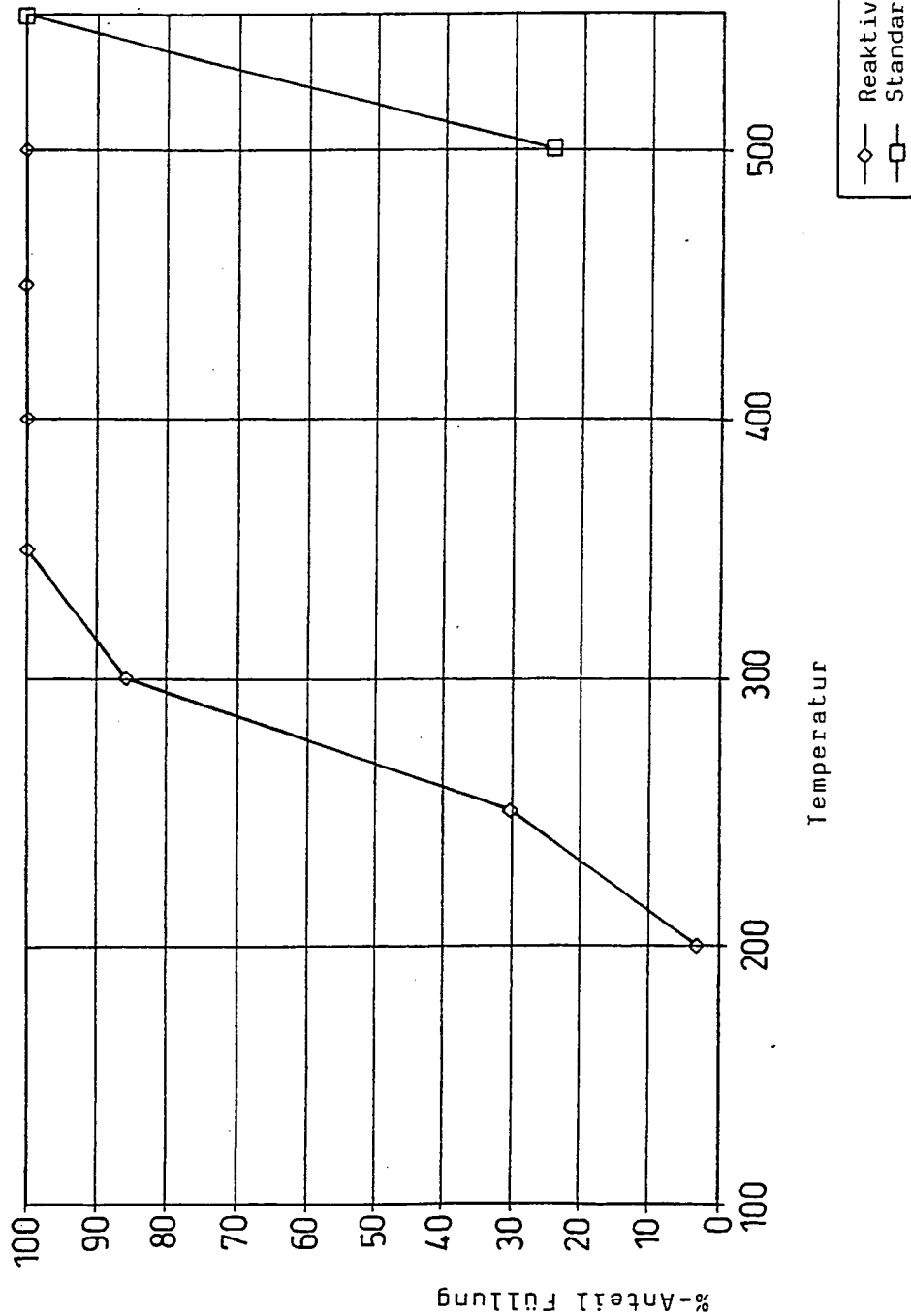
#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Auffüllen von Ausnehmungen in einer Oberflächenschicht eines Werkstückes mit leitendem Material, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:  
Ausbilden einer Barrierschicht auf der Oberfläche.  
Ablagern einer Schicht aus leitendem Material auf der Barrierschicht, und  
Zwingen, Fließen oder Driften des leitenden Materials in die Ausnehmungen, wobei die Barrierschicht Sauerstoff umfaßt oder oxidiert ist und oxidiertes Material in der Oberfläche der Schicht vor dem Ablagern des leitenden Materials nitriert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Barrierschicht in einer ersten Vorrichtung ausgebildet und die leitende Schicht in einer zweiten Vorrichtung abgelagert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Vorrichtung eine Vorrichtung zum chemischen Aufdampfen (CVD) ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Vorrichtung eine Vorrichtung zum physikalischen Aufdampfen (PVD) oder eine Vorrichtung zum galvanischen Behandeln ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Nitrierungsschritt mit einem Stickstoff enthaltenden Plasma ausgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Barrierschicht vor oder gleichzeitig mit dem Nitrierungsschritt mit atomarem Wasserstoff in Kontakt gebracht wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Barrierschicht plasma- oder U.V.-erzeugtem atomarem Wasserstoff in der Anwesenheit von Stickstoff ausgesetzt wird, um jegliches oxidierte Material in der Barrierschicht zu nitrieren.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis von Wasserstoff zu Stickstoff zwischen 1 : 20 und 3 : 1 liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Wasserstoff in Form von NH<sub>3</sub> zugeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das NH<sub>3</sub> wenigstens einen Teil des nitrierenden Stickstoffs zuführt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenschicht nach dem Ausbilden der Barrierschicht vorgeheizt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorheiztemperatur des Wafers 350°C oder weniger beträgt.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende Material aus der Gruppe Aluminium, Aluminiumlegierung, Kupfer oder Silber ausgewählt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Graph 1: % Füllanteilsänderung mit Vorheiztemperatur mit 460°C Füllverfahren



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**